



# 创意养成

## Unit 2



光电工程学院-光子学研究中心

苑立波  
光电工程学院  
光子学研究中心

## 《创意养成》教学指导思想

- 创意：总是趋向于采用新方法解决问题的意向与习惯。
- 从教育思想方面，吸纳了《教育的目的》中的培养活的思想的教育；
- 吸收了《如何正确思维》的五步思维法，以及思维的目的是解决问题的思想。
- 穿插介绍了批判性思维的特点及其思维习惯；参考书目：《批判性思维工具》
- 描述了创新性思维的特征。参考书目：《创造性思维十一讲》
- 目的是培养学生有意识养成个人的这些良好的思维习惯。

**如何将上述教学思想，融汇于下述具体操作过程中？**

## 具体教学内容和方法上：

1. **给出了思维辅助工具：Mind Map 思维导图**，具有以下功能，(1) 可以协助整理思维，有利于形成关联；(2) 使思维发散，提高思维效率；(3) 使思维得以形象化记录，便于促进思维；(4) 能够使思维得以记录的前提下进行不断的连续深入思考。参考书目：《思维导图》

### 作业与练习？

2. **文献的反复检索、查阅、与主题筛选方法 (Re-search)：**

参见：马三梅等，《科技文献检索与利用》，科学出版社，2017年；

### 作业与练习？

3. **给出了多维文献阅读法：介绍了阅读密码表、阅读辅助工具（直尺、荧光笔）、文献整合表及其使用方法：参考书目：《会读才会写》**

(一) 文献阅读密码表法：在阅读过程中插入文章的解构密码，使文献阅读的速度慢下来，

实现了从以下四个层面开展文献阅读与理解：(1) 文章内容上进行理解；(2) 文章结构上，通过解构密码获得文本结构的信息；(3) 文章的逻辑结构上，通过主题标识，获得逻辑结构的认识；(4) 通过多篇文章的阅读与联系，完成疑问——联想——启发——发现——构思的创意过程。

(二) 文献整合表（形成综述，提炼问题，找到解决问题的启示）：学会 (1) 围绕主题；(2) 以前人的结果做陈述；(3) 以前人的空白或疑问为拟思考解决问题的出发点；(4) 构建自己拟进一步深入思考的创意起点。

## 作业与练习？

4. 问题提出、分析与追问的方法（参考书目：《十九札》；日本《思考力》）；

(一) 问题分析：问题性质分类，**疑问——目的是寻求知识**（对于自我不知道的已有的知识）；**质疑——目的是寻求问题**（目前没有答案的未知）；**怀疑——目的是寻求观念**（观念就是对

事物的观点和见识)。

(二) 问题状态分解成三类：(1) 不了解事实；(2) 不知道答案；(3) 不明白自己哪里不明白；

(三) 问题追问：“不明白哪里不明白”的状态进一步分解为两部分：**(1) 不了解事实**（解决的方法就是去查询）；**(2) 不知道答案**（解决的方法是通过不断地思考来接近问题的本质；将疑难问题的各个要素拆分开，逐个击破）。

## 作业与练习？

### 5. Journal Club 技术：

(一) 方法上，是一种多脑协同工作模式，能够使多个大脑同时联合工作，相互激发、互相启迪。达到在纵向上一深化思考的深度；横向上一强化联系的广度的目的。

(二) 功能上，能够起到 (1) 剖析核心文献；(2) 追踪前沿热点；(3) 开拓发展新概念的作

用。

(三) 效果上, 能够达到围绕一个主题, 引导多脑协同工作, 提高工作质量 (深度) 与效率 (广度)。

(四) 使用上, 适合于导师指导的学生组会, 科研课题小组, 实验室研讨会, 小班主题授课研讨等。

**作业与练习?**

光电工程学院-光子学研究中心

# U2 内容提要

1. 文献阅读：何为批判性阅读？
2. 一种学术论文批判性阅读的具体方法：论文要素的解构密码
3. 主题文献阅读案例：一组与微透镜密切相关的文献
4. Why Journal Club? （为什么要采用小组文献阅读会的方式）

# 关于文献的批判性阅读

调查结果表明，本科高年级学生和低年级研究生都很少能够进行**批判性阅读**，来应对其学术论文和学位论文的写作需求。

例如，可能有些学生曾经听到自己的老师教导说：“**你得批判性地阅读。**”但问题在于这些要别人做什么事的善意建议总是空洞无物，不能够明确地教他们怎么做这件事。因为关于如何进行批判性阅读の説明都几乎是“大而化之，模棱两可”的指示。比如说，告诉读者“**保持批判性视角**”。没有人明确地解释什么样的阅读才算是“**批判性阅读**”。换句话说，它们**只是给出了目的地，却没有给出路线图。**

有鉴于此，本课程不假定学生已经具有批判性阅读的必备技能。

# 关于文献的批判性阅读

**批判性阅读**之所以重要，是因为它能够激发读者产生新的观点、新的设想。即使读者没有自己的观点，也可能发现某些新的“**阐释方法**”。

简单地说，一方面，批判性观点已经零散地嵌入在每一篇文献中，读者需要做的就是**在文稿中将其解码**。每当我们在撰写学术论文时，之所以难以形成新的观点，并不是因为新观点不存在，而是我们还没有掌握批判性阅读这一技术。另一方面，如果我们能够阅读密切相关的一组文献，通过比较与鉴别、就能发现其异同和优劣。若我们还能就某一问题或观点具有明确的判断标准时，我们就能给出我们自己的评价与判断。这就是所谓的“**批判性阅读**”的要旨。

为此，本讲首先介绍**单篇文献的阅读解码技术**；然后再尝试**将密切相关的一组文献如何进行对比分析**。目的是将“**批判性地阅读**”从建议落到实处，从而使学生掌握批判性阅读技巧。

说明：本单元教学内容取材于菲利普·钟和顺[加]所撰写的《**会读才会写——导向论文写作的文献阅读技巧**》一书，该书是重庆大学出版社于2015年出版的。



- 该书的作者认为，在写作中遇到的卡壳现象，是阅读技巧欠缺和信息管理不善的结果。
- 学术期刊中的研究论文本身就必定充满着新的、有待完善的观点。现有文献中的空白或不足，或者说新观点的缺乏，正是学者们撰写期刊论文的理由。
- 批判性观点已经零散地嵌入在期刊论文中，读者要做的就是**在文本中将其解码**。写作者之所以难以形成新的观点，是因为他们还没有掌握**文本批评或批判性阅读**这一艺术，而不是因为新观点不存在。
- 在识别一篇文章中各句各段的功能（RCL，RTC，RPP，RFW，MOP）的过程中，学生们不仅进行着批判性思考，评价论文的优劣之处，也在潜移默化地为自己将来要写的论文搭建框架。
- 简单地纠正一下句子和语法，这完全起不到提高学生写作水平的作用。钻研优秀论文，琢磨其写作方法，才能获得这些写作技巧。

# 文献阅读的“质”和“量”何以如此重要？

当学生开始论文写作时，如果不知道该写什么，或者难以将自己的想法组织成论文，这通常有两个原因：

(1) 文献阅读量不够；

(2) 文献阅读量没问题，但是没能找到一种方法来组织从文献中收集的信息。

上述两个问题都会导致想要撰写具有创意的论文却常常不知道如何下笔而经常性的处于“卡壳”的状态难以自拔。虽然看似处于写作过程的问题，实则都发生在阅读阶段，因此，写作过程中的这类问题应该回到阅读阶段解决。

# 文献阅读的“质”和“量”何以如此重要？

作为诊断，这里将卡壳现象归因于写作者在**阅读技巧、阅读组织、阅读数量和阅读管理方面的缺陷**，而不是将其简单地视为动机不足或动力不够的结果。

如果对前人的研究工作了解不足（阅读量不够），在组织自己的思路时必然会犯坐井观天或夜郎自大式的错误。如果缺乏恰当的阅读工具和有效的阅读技巧，则所写出的文献综述就会失之于简单，无法提供逻辑严谨的文献批评和前瞻性的研究定位，从而使我们的论文**缺乏研究意义**这一关键要素。如果缺乏对所解决的问题的直接应用或潜在应用的宽广的了解，就会使我们的论文**缺少研究的价值**这一**致命的要素**。

要解决的问题是

1. 怎样阅读才能在阅读过程中有逻辑地组织研究论文和研究主题的各级概念分支？
2. 采用何种阅读策略才能培养读者深思并产生新观点和新主张？

怎样才能获得“批判性阅读”的技能？



光电工程学院-光子学研究中心

# U2 内容提要

1. 文献阅读：何为批判性阅读？
2. 一种学术论文批判性阅读的具体方法：论文要素的解构密码
3. 主题文献阅读案例：一组与微透镜密切相关的文献
4. Why Journal Club? （为什么要采用小组文献阅读会的方式）

## 菲利浦博士的文献阅读密码表

密码在文中的位置	密码缩写	名称	含义
前言	WTD	他们要做什么 (What They Do)	作者(们)声称要在论文/书中做什么;这一密码提炼出了作者在文本中提出的主要问题。
文献综述	SPL	现有文献综述 (Summary of Previous Literature)	该句、该段或该页给出了前人研究结果的简要综述。该过程要求大量的提炼工作, 要理解复杂的观点并把它们浓缩为几段话或几句话, 本领高强的作者甚至能将其浓缩为一句话。
文献综述	CPL	现有文献批评 (Critique of Previous Literature)	作者评论先行学者著述的学术文献并指出其局限。CPL 与 POC, GAP 以及 SPL 都有概念联系, 因为已有文献在理论、方法论和分析工具方面的不足正是目前研究的必要性之所在。CPL 常常会紧随 SPL, 因为作者首先要提供一些思想作靶子才能进行批评。
文献综述	GAP	空白(Gap)	作者(可能以某种有系统的方式)指出现有文献中缺失的成分。如果 GAP 和 CPL 得以恰当操作, 那么读者就应该能够在作者明示之前就预测出 RAT。
文献综述	RAT	理论依据 (Rationale)	作者在此处提出依据, 证明其研究是必要的, 有理由的。作者给出现有文献的 CPL 和 GAP 后, 应该顺理成章地、逻辑清晰地在其后推导出 RAT。

研究结果/讨论	ROF	研究结果 (Results of Findings)	描述该文的主要研究结果。该密码常常先后出现在摘要、研究结果和结论部分，因为在大多数学术期刊发表的论文中，要求对这一点反复强调至少三次。
讨论	RCL	与现有文献观点一致的研究发现 (Results Consistent with Literature)	描述该文与现有文献观点一致的研究发现。也就是说，作者自己的研究工作支持其他人已经做出的研究工作。
讨论	RTC	与现有文献观点相反的研究发现 (Results to The Contrary)	描述该文与现有文献观点不一致的研究发现。也就是说，作者自己的研究工作并不支持其他人已经做出的研究工作。
结论	WTD	他们做了什么 (What They Did)	作者(们)在文章中做了什么；这是由 WTD 顺理成章导出的姊妹问题。这一密码提炼出了作者在文本中已经回答的主要研究问题，作者正是借此对该主题的相关文献做出自己的一份贡献。
结论	RFW	对未来研究的建议 (Recommendations of Future Works)	目前的研究工作还不完善；作者针对目前文献仍存在的研究空白(GAP)提出路线图，借此对其他研究者的未来研究提出建议。

# 阅读密码表的四层功能

## 1. 文章内容

(与具体研究内容相关的研究方法与结果)

光电工程学院-光子学研究中心

# 阅读密码表的四层功能

2. 论文结构 (通过文本解构阅读密码规律总结)

1. 文章内容

(与具体研究内容相关的研究方法与结果)

光电工程学院-量子学研究中心

# 阅读密码表的四层功能

3. 论文逻辑结构 (通过文献主题归纳)

2. 论文结构 (通过文本解构阅读密码规律总结)

1. 文章内容

(与具体研究内容相关的研究方法 with 结果)

光电工程学院-光子研究中心

# 阅读密码表的四层功能

4. 启发—联想 → 新想法 (通过多篇文献阅读)

3. 论文逻辑结构 (通过文献主题归纳)

2. 论文结构 (通过文本解构阅读密码规律总结)

1. 文章内容  
(与具体研究内容相关的研究方法与结果)

光电工程学院-光电研究中心

# 文献阅读辅助工具箱



光电工程学院-光子学研究中心

# 文献阅读辅助工具箱



光电工程学院-光子学研究中心

# 文献阅读辅助工具箱



## 文献密码对应内容的整合表

文章序号	作者, 年份	ROF	SPL	CPL	GAP	RFW	POC/RPP
1							
2							
3							
.....							

光电工程学院-光子学研究中心

# 文献阅读辅助工具箱



## 文献密码对应内容的整合表

文章序号	作者, 年份	ROF	SPL	CPL	GAP	RFW	POC/RPP
1							
2							
3							
.....							

## 文献综述提纲撰写表

密码	主题	内容	文章序号
1. SPL	主题1		
	主题2		
2. CPL/GAP	主题1		
	主题2		

# 如何阅读 Abstract?

我们选取一组关于微透镜的学术论文，  
分别取材于以下几个期刊：

1. **Optics Express;**
2. **Nature Communications;**
3. **Nature Photonics;**

**WTD:** What they do

**ROF:** Results of Findings

**APA:** Applications or Potential  
Applications

## Hybrid polymer microlens arrays with high numerical apertures fabricated using simple ink-jet printing technique

Joo Yeon Kim,<sup>1</sup> Nils B. Brauer,<sup>2</sup> Vahid Fakhfouri,<sup>1</sup> Dmitri L. Boiko,<sup>2,4</sup>  
Edoardo Charbon,<sup>2,5</sup> Gabi Grutzner,<sup>3,6</sup> and Juergen Brugger<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Microsystems Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Lausanne, Switzerland

<sup>2</sup>Aqua Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Lausanne, Switzerland

Micro Resist Technology GmbH, 12555 Berlin, Germany

<sup>4</sup>Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique CSEM SA, 2002, Neuchâtel, Switzerland

<sup>3</sup>Technische Universiteit Delft, Mekelweg 4, 2628 CD Delft, The Netherlands

<sup>6</sup>g.gruetzner@microresist.de

\*juergen.brugger@epfl.ch

**Abstract:** Microlens arrays fabricated by a direct ink-jet printing of UV-curable hybrid polymer are reported. A periodic pattern of polymer drops was ink-jet printed on the surface-treated glass substrate and cured in the UV-light. Using this simple technique, we demonstrated periodic arrays of almost semi-spherical microlenses of 50  $\mu\text{m}$  diameter size and a focal distance of 48 $\mu\text{m}$ . The optical characteristics of solitary  $\mu$ -lenses and arrays comprising up to 64x64 microlenses are measured both in the near- and far-field zones. Large numerical aperture and short focal distance make the ink-jet printing of microlenses very attractive for applications in optical interconnects, large 2D VCSEL arrays and pixelated image sensors utilizing CCD or SPAD arrays, offering thus an efficient, simple and a cheap alternative to the conventionally used photolithography technique.

} WTD  
> ROF  
} APA

©2011 Optical Society of America

**OCIS codes:** (130.0130) Integrated optics; (130.1750) Components; (130.3990) Micro-optical devices; (030.4280) Noise in imaging systems; (220.3630) Lenses; (220.4000) Microstructure fabrication; (160.5470) Polymers; (160.6060) Solgel.

ARTICLE

Received 4 Aug 2015 | Accepted 26 Apr 2016 | Published 24 Jun 2016

DOI: 10.1038/ncomms11763

OPEN

# Sub-micrometre accurate free-form optics by three-dimensional printing on single-mode fibres

Timo Gissibl<sup>1</sup>, Simon Thiele<sup>2</sup>, Alois Herkommer<sup>2</sup> & Harald Giessen<sup>1</sup>

Micro-optics are widely used in numerous applications, such as beam shaping, collimation, focusing and imaging. We use femtosecond 3D printing to manufacture free-form micro-optical elements. Our method gives sub-micrometre accuracy so that direct manufacturing even on single-mode fibres is possible. We demonstrate the potential of our method by writing different collimation optics, toric lenses, free-form surfaces with polynomials of up to 10th order for intensity beam shaping, as well as chiral photonic crystals for circular polarization filtering, all aligned onto the core of the single-mode fibres. We determine the accuracy of our optics by analysing the output patterns as well as interferometrically characterizing the surfaces. We find excellent agreement with numerical calculations. 3D printing of microoptics can achieve sufficient performance that will allow for rapid prototyping and production of beam-shaping and imaging devices.

← APA  
← WTD  
← ROF

**APA:** Applications or Potential Applications

**WTD:** What they do

**ROF:** Results of Findings

光电工程学院-光子学研究中心

# Two-photon direct laser writing of ultracompact multi-lens objectives

Timo Gissibl<sup>1\*</sup>, Simon Thiele<sup>2</sup>, Alois Herkommer<sup>2</sup> and Harald Giessen<sup>1</sup>

Current lens systems are restricted in size, shape and dimensions by limitations of manufacturing. Multi-lens elements with non-spherical shapes are required for high optical performance and to correct for aberrations when imaging at wide angles and large fields. Here we present a novel concept in optics that overcomes all of the aforementioned difficulties and opens the new field of 3D printed micro- and nano-optics with complex lens designs. We demonstrate the complete process chain, from optical design, manufacturing by femtosecond two-photon direct laser writing and testing to the application of multi-lens objectives with sizes around 100  $\mu\text{m}$ , and validate their high performance and functionality by quantitative measurements of the modulation transfer function and aberrations. The unprecedented flexibility of our method paves the way towards printed optical miniature instruments such as endoscopes, fibre-imaging systems for cell biology, new illumination systems, miniature optical fibre traps, integrated quantum emitters and detectors, and miniature drones and robots with autonomous vision.

- CPL**: Critique of Previous Literature
- GAP**: Gap
- WTD**: What they do
- ROF**: Results of Findings
- APA**: Applications or Potential Applications

GAP &  
CPL  
WTD  
ROF  
&  
APA

# 缺失的密码补充

**APA:** 指出文中所解决的问题或提出的方法的应用和未来潜在的应用。表明所解决的问题的重要价值。(Applications or Potential Applications)

## 论文的结构与组织学习：回到文献阅读

低年级研究生的论文中，最典型的问题是**缺乏对文献的批评**。因此，使他们学会**在文献阅读过程中进行批判性的考察**，是提升研究生学术论文的结构与组织水平的关键。



# 论文的真知灼见来自于文献阅读中的敏锐洞见

正如人们所说的那样，学术论文写作不仅仅是打字。它离不开生成文稿所必须的阅读、概述、观点阐释和数据分析等论文撰写之前的活动。正是在阅读时我们才能找到文献的主题、优点和不足。应该随时记录阅读体会，才能在此基础上产生关于该主题的重大洞见。可以看出，细致的阅读不应被视为写作的从属行为，正确的阅读方法会带来关于某个主题敏锐洞见。学生们要做的只是学会恰当地阅读文献以激发出这些敏锐的洞见。



# 文献综述技能是训练发现问题，培养思考，获得新见解的重要途径

- 当我们酝酿一篇学术论文时，例如一篇简短的综述性论文，要查阅读多少篇参考文献？
- ✓ 阅读从主题检索开始，然后是：**主题——题目——摘要**
- ✓ 例如：某研究生围绕着某一研究主题，检索到了200篇文献。这个数目明显太大了，超出了可控范围。接下来怎么办？
  - (1) 需要将主题检索词汇加以限定细化后再搜索（所谓Re-search），结果有70篇符合要求的文献，这下就好办的多了；
  - (2) 开始仔细分析论文题目，其中一些从题目上看相关度很高，这样的论文大约有40篇；
  - (3) 这40篇中假设有20篇主题与你的研究相关，但内容上不能确定，这是需要进一步阅读文献摘要，来进行排除，假设排除了10篇；
  - (4) 剩下的30篇可以纳入你要写作的综述论文中，但是我们需要按什么样的方式阅读呢？

# U2 内容提要

1. 文献阅读：何为批判性阅读？
2. 一种学术论文批判性阅读的具体方法：论文要素的解构密码
3. 主题文献阅读案例：一组与微透镜密切相关的文献
4. Why Journal Club? （为什么要采用小组文献阅读会的方式）

# 阅读密码表与文献整合表的意图

## 一、文献阅读密码表的使用意图：

在阅读过程中插入文章的解构密码，使文献阅读的速度慢下来，实现了从以下四个层面开展文献阅读与理解：（1）文章内容上进行理解；（2）文章结构上，通过解构密码获得文本结构的信息；（3）文章的逻辑结构上，通过主题标识，获得逻辑结构的认识；（4）通过多篇文章的阅读与联系，完成疑问——联想——启发——发现——构思的创意过程。

## 二、文献整合表意图（形成综述，提炼问题，找到解决问题的启示）：

学会（1）围绕主题；（2）以前人的结果做陈述；（3）以前人的空白或疑问为拟思考解决问题的出发点；（4）构建自己拟进一步深入思考的创意起点。

# 文献阅读案例：一组与微透镜密切相关的文献

## Hybrid polymer microlens arrays with high numerical apertures fabricated using simple ink-jet printing technique

Joo Yeon Kim,<sup>1</sup> Nils B. Brauer,<sup>2</sup> Vahid Fakhouri,<sup>1</sup> Dmitri L. Boiko,<sup>2,4</sup> Edoardo Charbon,<sup>2,5</sup> Gabi Grutzner,<sup>3,6</sup> and Juergen Brugger<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Microsystems Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Lausanne, Switzerland  
<sup>2</sup>Aqua Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Lausanne, Switzerland  
<sup>3</sup>Micro Resist Technology GmbH, 12555 Berlin, Germany

<sup>4</sup>Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique CSEM SA, 2002, Neuchâtel, Switzerland  
<sup>5</sup>Technische Universiteit Delft, Mekelweg 4, 2628 CD Delft, The Netherlands  
<sup>6</sup>g.grutzner@microresist.de  
<sup>\*</sup>juergen.brugger@epfl.ch

**Abstract:** Microlens arrays fabricated by a direct ink-jet printing of UV-curable hybrid polymer are reported. A periodic pattern of polymer drops was ink-jet printed on the surface-treated glass substrate and cured in the UV-light. Using this simple technique, we demonstrated periodic arrays of almost semi-spherical microlenses of 50  $\mu\text{m}$  diameter size and a focal distance of 48  $\mu\text{m}$ . The optical characteristics of solitary  $\mu$ -lenses and arrays comprising up to 64x64 microlenses are measured both in the near- and far-field zones. Large numerical aperture and short focal distance make the ink-jet printing of microlenses very attractive for applications in optical interconnects, large 2D VCSEL arrays and pixelated image sensors utilizing CCD or SPAD arrays, offering thus an efficient, simple and a cheap alternative to the conventionally used photolithography technique.

©2011 Optical Society of America

**OCIS codes:** (130.0130) Integrated optics; (130.1750) Components; (130.3990) Micro-optical devices; (030.4280) Noise in imaging systems; (220.3630) Lenses; (220.4000) Microstructure fabrication; (160.5470) Polymers; (160.6060) Solgel.

### References and links

1. D. L. MacFarlane, V. Narayan, J. A. Tatam, W. R. Cox, T. Chen, and D. J. Hayes, "Microjet fabrication of microlens arrays," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **6**(9), 1112–1114 (1994).
2. H. Otevaere, R. Cox, H. P. Herzig, T. Miyashita, K. Naessens, M. Taghizadeh, R. Volkel, H. J. Woo, and H. Thienpont, "Comparing glass and plastic refractive microlenses fabricated with different technologies," *J. Opt. A, Pure Appl. Opt.* **8**(7), S407–S429 (2006).
3. Z. D. Popovic, R. A. Sprague, and G. A. N. Connell, "Technique for monolithic fabrication of microlens arrays," *Appl. Opt.* **27**(7), 1281–1284 (1988).
4. C. Crouxé-Barghorn, O. Soppera, and D. J. Lounget, "Fabrication of refractive microlens arrays by visible irradiation of acrylic monomers: influence of photonic parameters," *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* **13**(1), 31–37 (2001).
5. A. Tripathi, T. V. Chokshi, and N. Chronis, "A high numerical aperture, polymer-based, planar microlens array," *Opt. Express* **17**(22), 19908–19918 (2009).
6. M. He, X.-C. Yuan, N. Q. Ngo, J. Bu, and S. H. Tao, "Single-step fabrication of a microlens array in sol-gel material by direct laser writing and its application in optical coupling," *J. Opt. A, Pure Appl. Opt.* **6**(1), 94–97 (2004).
7. D. Wu, S. Wu, L. Niu, Q. Chen, R. Wang, J. Song, H. Fang, and H. Sun, "High numerical aperture microlens arrays of close packing," *Appl. Phys. Lett.* **97**(3), 031109 (2010).
8. W. Cheong, L. Yuan, V. Koudriachov, and W. Yu, "High sensitive SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> hybrid sol-gel material for fabrication of 3 dimensional continuous surface relief diffractive optical elements by electron-beam lithography," *Opt. Express* **10**(14), 586–590 (2002), <http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?URI=oe-10-14-586>.
9. V. Fakhouri, N. Cantale, G. Mermoud, J. Y. Kim, D. Boiko, E. Charbon, A. Martinoli, and J. Brugger, "Inkjet printing of SU-8 for polymer-based MEMS a case study for microlenses," in *Proceedings of 21st IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems MEMS 2008* (Tucson, AZ, 2008), pp. 407–410.

#142920 - \$15.00 USD Received 22 Feb 2011; revised 14 May 2011; accepted 14 May 2011; published 25 May 2011  
(C) 2011 OSA 1 June 2011 / Vol. 1, No. 2 / OPTICAL MATERIALS EXPRESS 259



### ARTICLE

Received 4 Aug 2015 | Accepted 26 Apr 2016 | Published 24 Jun 2016

DOI: 10.1038/ncomms11763 OPEN

## Sub-micrometre accurate free-form optics by three-dimensional printing on single-mode fibres

Timo Gissibl<sup>1</sup>, Simon Thiele<sup>2</sup>, Alois Herkommer<sup>2</sup> & Harald Giessen<sup>1</sup>

Micro-optics are widely used in numerous applications, such as beam shaping, collimation, focusing and imaging. We use femtosecond 3D printing to manufacture free-form micro-optical elements. Our method gives sub-micrometre accuracy so that direct manufacturing even on single-mode fibres is possible. We demonstrate the potential of our method by writing different collimation optics, toric lenses, free-form surfaces with polynomials of up to 10th order for intensity beam shaping as well as spiral photonic crystals for circular polarization filtering, all aligned onto the core of the single-mode fibres. We determine the accuracy of our optics by analyzing the output patterns as well as interferometrically characterizing the surfaces. A first excellent agreement with numerical calculations. 3D printing of microoptics can achieve sufficient performance that will allow for rapid prototyping and production of beam-shaping and imaging devices.

<sup>1</sup>4th Physics Institute and Research Center SCoPE, University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart, Germany. <sup>2</sup>Institute for Applied Optics (ITO) and Research Center SCoPE, University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart, Germany. Correspondence and requests for materials should be addressed to T.G. (email: t.gissibl@ipi.uni-stuttgart.de).

NATURE COMMUNICATIONS | 7:11763 | DOI: 10.1038/ncomms11763 | www.nature.com/naturecommunications

### ARTICLES

PUBLISHED ONLINE: 27 JUNE 2016 | DOI: 10.1038/NPHOTON.2016.121



## Two-photon direct laser writing of ultracompact multi-lens objectives

Timo Gissibl<sup>1\*</sup>, Simon Thiele<sup>2</sup>, Alois Herkommer<sup>2</sup> and Harald Giessen<sup>1</sup>

Current lens systems are restricted in size, shape and dimensions by limitations of manufacturing. Multi-lens elements with non-spherical shapes are required for high optical performance and to correct for aberrations when imaging at wide angles and large fields. Here we present a novel concept in optics that overcomes all of the aforementioned difficulties and opens the new field of 3D printed micro- and nano-optics with complex lens designs. We demonstrate the complete process chain, from optical design, manufacturing by femtosecond two-photon direct laser writing and testing to the application of multi-lens objectives with sizes around 100  $\mu\text{m}$ , and validate their high performance and functionality by quantitative measurements of the modulation transfer function and aberrations. The unprecedented flexibility of our method paves the way towards printed optical miniature instruments such as endoscopes, fibre-imaging systems for cell biology, new illumination systems, miniature optical fibre traps, integrated quantum emitters and detectors, and miniature drones and robots with autonomous vision.

Additive manufacturing enables new and unprecedented engineering and production possibilities that are predicted to have an enormous impact in the twenty-first century. The technology allows for the simple three-dimensional (3D) printing of volumetric objects directly from a computer-aided design<sup>1</sup>. So far, additively manufactured objects are mostly fabricated from metals, ceramics and opaque plastics. There are a number of different fabrication methods to manufacture small and high-performance micro-optical systems<sup>2–10</sup>, however, these technologies suffer from drawbacks such as limited miniaturization, inability to combine multiple elements, restrictions in designing the surfaces<sup>11–13</sup> and problems with the alignment<sup>14</sup>.

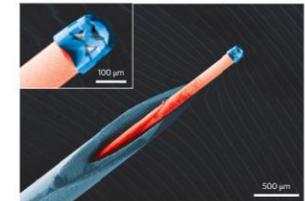
Multiphoton lithography is one of various 3D printing technologies that realize the fabrication of 3D objects<sup>15–17</sup>. Using femtosecond laser pulses and two-photon absorption, this manufacturing method takes 3D printing down to submicrometre feature sizes and therefore fits the ongoing trend of miniaturization forwards. Direct laser writing with highly transparent photoresists enables 3D printing to enter the realm of manufacturing optical elements at the micro- and nanometre scale<sup>16–21</sup>. Thus the precise fabrication of complex optical elements on demand becomes possible.

We demonstrate that 3D direct laser writing is a suitable tool for fabricating complex multi-lens optical systems that show high optical performances and tremendous compactness. Until now multi-lens optics that have comparable performances are considerably larger<sup>22–24</sup> and at the same time do not show the manifold compound structures and possibilities presented here. Our optical devices consist of several different free-form lens elements with air in between. This work is right at the interface between micro- and nano-optics and represents a paradigm shift for micro-optics. It takes only a few hours from lens design through production and testing to the final working optical device.

Endoscopic applications will allow for non-invasive and non-destructive examination of small objects in the medical as well as the industrial sector and serve as a hallmark application of this new technology. Figure 1 depicts an optical fibre equipped with a 3D printed multi-lens system for imaging the interior of a hollow

organ or a cavity inside the body. Using a very small injection cannula with an outer diameter of only 412  $\mu\text{m}$  (27 gauge) together with the fibre-coupled printed compound microscope objective lens, the insertion can be easily accomplished.

In this Article we demonstrate the capabilities of 3D dip-in laser lithography to manufacture high-quality optical compound lenses with outstanding performances<sup>25</sup>. We realize a variety of optical elements with different features for numerous applications. The optical performance is quantified and analysed by measuring the optical modulation transfer function (MTF) and the longitudinal (axial) chromatic aberration. We also characterize the roughness of the surfaces by atomic force microscope measurements. As



**Figure 1 |** Coloured SEM image of a triplet lens objective attached to an optical fibre inserted into the hollow needle of a syringe. The compound objective lens (blue) consists of five refractive surfaces for imaging applications and is directly fabricated on the optical fibre (red). The fibre is emerging from a hollow needle (27 gauge, outer diameter 412  $\mu\text{m}$ , inner diameter 210  $\mu\text{m}$ ) to demonstrate the possibility of endoscopic applications. The objective lens is fabricated in a cutout fashion for better visibility. The inset shows a magnified image of the fibre tip with the objective.

<sup>1</sup>4th Physics Institute and Research Center SCoPE, University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart, Germany. <sup>2</sup>Institute for Applied Optics (ITO) and Research Center SCoPE, University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart, Germany. \*email: t.gissibl@ipi.uni-stuttgart.de

554

NATURE PHOTONICS | VOL 10 | AUGUST 2016 | www.nature.com/naturephotonics

© 2016 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved.

# 如何阅读 Introduction, Results and Conclusions?

文献密码对应内容的整合表

文章序号	作者, 年份	ROE	SPL	CPL	GAP	RFW	POC/RPP
1							
2							
3							

我们选取一组关于微透镜的学术论文，分别取材于以下几个期刊：

1. *Optics Express*;
2. *Nature Communications*;
3. *Nature Photonics*;

文献综述提纲撰写表

密码	主题	内容	文章序号
1. SPL	主题1		
	主题2		
2. CPL/GAP	主题1		
	主题2		

阅读要求：

1. 仔细阅读这三篇文献，理解文章的内容；
2. 在论文的右边空白处标记阅读密码；
3. 在论文的左边空白处标记主题词；
4. 将文章有关内容填写到两个表格中

## 阅读策略

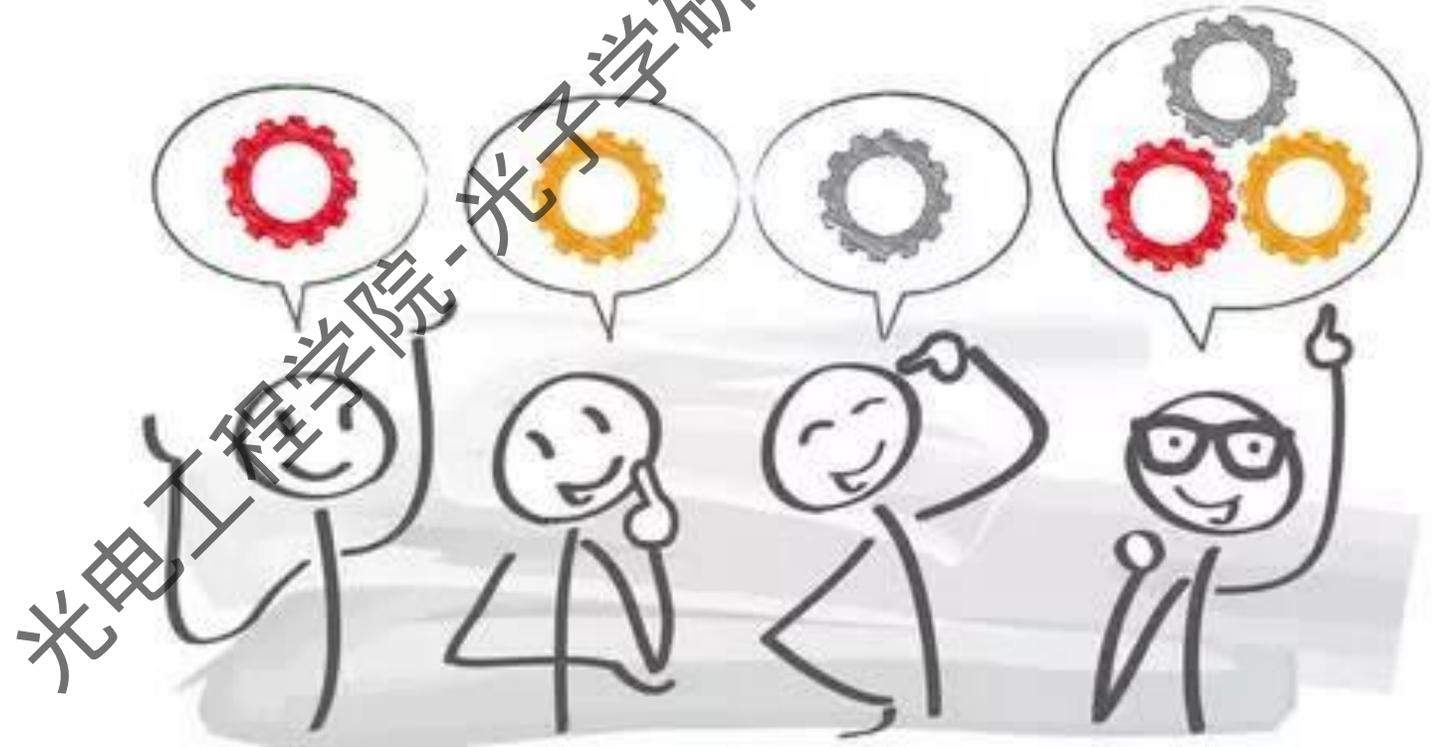
	POC	批评点 (Point of Critique)	现有文章或文献中的一个缺陷，可供你(学生写作者)批评，并在未来论文中针对其加以弥补。
	MOP	明显的遗漏点 (Missed Obvious Point)	你所阅读的文献的作者明显忽视了与先前文献的理论、概念或分析方法上的某一联系。(MOP 常常是由于文章作者文献阅读不充分或不全面导致的。)
	RPP	待探讨的相关问题 (Relevant Point to Pursue)	有待我另文讨论。尽管这一密码未能指出现有文献的任何局限性或空白点，但该点提出后可以成为未来文章的 POC。很明显，RPP 的出现一定意味着相应的 MOP 和 GAP 的存在。
	WIL	能否 (With)	将这一理论或概念联系加以逻辑梳理，以得出相应结论，来化解文章中随处可见的矛盾和待解决问题？

# U2 内容提要

1. 文献阅读：何为批判性阅读？
2. 一种学术论文批判性阅读的具体方法：论文要素的解构密码
3. 主题文献阅读案例：一组与微透镜密切相关的文献
4. **Why Journal Club?** （为什么要采用小组文献阅读会的方式）

Journal Club 的本质是一种实现多个“头脑”联合工作的方法，当多个大脑共同针对一篇文献时，就能焕发出集体智慧来！

- 分析更全面；
- 解剖更深入；
- 理解更充分；
- 思考更深刻。



多脑联合工作，有助于从多个视角来深入思考问题：



不断的质疑，能够引发出更多的思想火花和思想碰撞！





# Any Questions



光电工程学院-光子学研究中心